TP 13853F

Systèmes d'indication de la position d'aiguilles à manœuvre manuelle en zone exempte de signalisation

par
Frank R. Wilson
Université du Nouveau-Brunswick
Groupe des transports

Novembre 2001

UNB

AVIS

Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports ou du Comité de direction.

Le Centre de développement des transports n'a pas l'habitude de citer des noms de produits ou de fabricants. S'il le fait ici, c'est simplement pour la bonne compréhension du texte.

Ce rapport n'utilise pas les unités du Système international étant donné que, dans le secteur d'activités concerné, seules les unités impériales ont cours.

Équipe de recherche sous contrat

Coordonnateur : Frank R. Wilson (Université du Nouveau-Brunswick, Groupe des transports)

Agents de recherche : Alemayehu Ambo (Université du Nouveau-Brunswick, Groupe des transports)
Lino O. García (Université du Nouveau-Brunswick, Groupe des transports)

Comité de direction

Peter Birtwistle (Transports Canada, Direction générale de la sécurité ferroviaire)
Monique Blais (Transports Canada, Région du Québec, Surface)
Dennis Hutton (Transports Canada, Direction générale de la sécurité ferroviaire)
Ray B. Kroeker (Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada)
Daniel Lafontaine (Transports Canada, Direction générale de la sécurité ferroviaire)
Anthony Napoli (Consultant, Centre de développement des transports)
Michel Paquette (Transports Canada, Région du Québec, Surface)
Roger Savaria (Transports Canada, Région du Québec, Surface)
Sesto Vespa (Transports Canada, Centre de développement des transports)

This report is also available in English under the title "Systems to Indicate the Position of a Hand-Operated Switch on Non-Signalled Rail Lines", TP 13853E.

Transports Canada Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 13853F	5013	

4. Titre et sous-titre	5. Date de la publication
Systèmes d'indication de la position d'aiguilles à manoeuvre manuelle en zone exempte de signalisation	Novembre 2001
	6. N° de document de l'organisme exécutant

7. Auteur(s)	8. N° de dossier - Transports Canada
F. Wilson, A. Ambo et L. García	ZCD2450-D-733

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant	10. N° de dossier – TPSGC
Groupe des transports Université du Nouveau-Brunswick, Département de génie civil Boîte postale 4400 Fredericton, Nouveau-Brunswick Canada E3B 5A3	MTB-0-02030
	11. N° de contrat – TPSGC ou Transports Canada
	T8200-000548/001/MTB

12. Nom et adresse de l'organisme parrain	13. Genre de publication et période visée
Centre de développement des transports (CDT) 800, boul. René-Lévesque Ouest Bureau 600 Montréal (Québec) H3B 1X9	Final
	14. Agent de projet
	Sesto Vespa

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

16. Résumé

Ce rapport présente les technologies existantes qui pourraient trouver une application dans l'indication de la position d'aiguilles à manœuvre manuelle en zone exempte de signalisation. Il décrit les composants et le principe de fonctionnement de chaque technologie et donne un aperçu des coûts d'achat, tels que communiqués par les fabricants. Il comprend en outre une analyse coûts-avantages qui établit les économies à attendre aux chapitres de la diminution des dommages matériels et du nombre de morts et de blessés découlant d'accidents en voie principale, si on installait un système capable d'avertir à l'avance les équipes des trains de la position d'une aiguille à manœuvre manuelle en zone exempte de signalisation. L'analyse tient également compte des gains de temps de déplacement des voyageurs et des marchandises.

Selon les résultats de cette analyse, les avantages reliés au remplacement de systèmes manuels d'indication de position d'aiguilles par des dispositifs électriques ne compenseraient pas les coûts d'un tel projet, si on ne tenait compte que des économies réalisées aux chapitres des dommages matériels et des pertes de vie. Mais si l'on prend en considération la valeur du temps de déplacement, le projet devient économiquement viable. L'étude a révélé l'existence sur le marché d'un certain nombre de technologies qu'il serait possible de mettre en œuvre pour les fins envisagées.

17. Mots clés	18. Diffusion
Accident ferroviaire, aiguille à manœuvre manuelle, zone exempte de signalisation	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	x, 38, ann.	Port et manutention

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 13853F	5013	

4. Title and Subtitle

Systèmes d'indication de la position d'aiguilles à manoeuvre manuelle en zone exempte de signalisation

5. Publication Date

November 2001

6. Performing Organization Documen No.

7. Author(s)

F. Wilson, A. Ambo and L. García

8. Transport Canada File No.

ZCD2450-D-733

9. Performing Organization Name and Address

Transportation Group
University of New Brunswick, Department of Civil Engineering
P.O. Box 4400
Fredericton, New Brunswick
Canada E3B 5A3

10. PWGSC File No.

MTB-0-02030

11. PWGSC or Transport Canada Contract No.

T8200-000548/001/MTB

12. Sponsoring Agency Name and Address

Transportation Development Centre (TDC)
800 René Lévesque Blvd. West
Suite 600
Montreal, Quebec
H3B 1X9

13. Type of Publication and Period Covered

Final

14. Project Officer

Sesto Vespa

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

16. Abstract

This report presents available technologies with potential application to indication of hand-operated switch position on non-signalled rail lines. The components and operation of each technology are described, and the acquisition cost, as indicated by the manufacturer, is estimated. It includes a benefit-cost analysis assessing the savings from reduction in property damage, personal injuries, and fatalities on main-track rail lines due to the installation of an advance warning system to advise train crews on the position of a hand-operated switch on non-signalled rail lines. Passenger travel time and cargo time savings are included in the benefit-cost analysis.

Results show that the replacement of hand-operated switches with electrical devices does not yield a positive benefit-cost ratio if only savings in property damages and human fatalities are considered. However, if the reduction in travel time is included, the project would be economically viable. The study indicated that a number of off-the-shelf technologies are available and could feasibly be implemented.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Rail accidents, hand-operated switches, non-signalled rail lines	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	x, 38, apps	Shipping/ Handling

102-02403/

SOMMAIRE

Le Centre de développement des transports (CDT), au nom de la Direction générale de la sécurité ferroviaire de Transports Canada (TC), a demandé au Groupe des transports de l'Université du Nouveau-Brunswick (UNB) d'effectuer une étude sur l'existence et l'accessibilité de technologies capables de fournir aux équipes de train des renseignements prédictifs quant à la position d'aiguilles à manœuvre manuelle dans des zones exemptes de signalisation. L'étude visait un examen scientifique et technique des technologies existantes, au moyen de sondages adressés à des universités, centres de recherche et/ou de développement, et fournisseurs/fabricants de matériel de signalisation. Les sondages ont été envoyés à des institutions et des entreprises du Canada, des États-Unis, d'Europe et d'Australie. Des visites et des entrevues ont également été organisées avec des représentants de Transports Canada, de l'Association des chemins de fer du Canada, de la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada, de Canadien Pacifique Limitée, de la Fraternité des mécaniciens de locomotives et de certaines entreprises et institutions choisies.

L'étude a révélé qu'il est possible d'installer des systèmes peu coûteux et fiables pour indiquer la position d'aiguilles à manœuvre manuelle sur des voies ferrées exemptes de signalisation. Dix technologies ont été repérées, qui semblent pouvoir être appliquées aux objectifs de la présente étude. Ces technologies vont d'un prototype présentement mis à l'essai sur le terrain par la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada à des composants qui pourraient être assemblés pour constituer un système. De ce nombre, cinq ont été considérées comme étant particulièrement prometteuses.

Lors de discussions, des experts et des représentants de transporteurs ferroviaires ont exprimé l'avis qu'il existe suffisamment de moyens technologiques pour développer des produits appropriés et/ou pour mettre en œuvre les technologies existantes. Les principaux critères techniques de mise en oeuvre sont une grande fiabilité, le plus faible coût possible, une installation et une exploitation faciles, des besoins d'entretien minimaux et une durée de vie prolongée. La technologie doit être facilement adaptable dans l'éventualité où l'évolution de l'industrie ferroviaire ferait surgir d'autres besoins.

Une analyse coûts-avantages préliminaire a été effectuée, dans le but d'obtenir une évaluation approximative à partir des données disponibles, lesquelles étaient plutôt rares dans certains cas. Les avantages ont été considérés selon des économies associées à la diminution des dommages matériels et du nombre de morts et de blessés, de même que des gains en temps. L'analyse montre qu'un projet de remplacement de systèmes manuels d'indication de position d'aiguilles par des dispositifs électroniques serait dispendieux et injustifié, si l'on tient compte seulement des économies reliées aux dommages matériels et à la diminution du nombre de morts et de blessés. Cependant, le projet devrait être économiquement viable, même si l'analyse coûts-avantages ne tient compte que de 5 ou 10 p. cent de la valeur du temps de déplacement pour les passagers et les marchandises.

TABLE DES MATIÈRES

SIGLES ET ABRÉVIATIONS ..... *ix*

1 GÉNÉRALITÉS 1
1.1 Introduction 1
1.2 Contexte 1
1.3 Objectif et portée 4

2 MÉTHODOLOGIE ET SONDAGE 5
2.1 Recherche documentaire 6
2.2 Sources de données 7
2.2.1 Répertoire des fournisseurs et fabricants 7
2.2.2 Répertoire des transporteurs 7
2.2.3 Répertoire des universités 7
2.3 Entrevues et visites 7

3 ANALYSE DE LA DOCUMENTATION RECUEILLIE 8
3.1 Discussion des documents pertinents 8
3.2 Recensement des technologies d'intérêt 22

4 SOMMAIRE DES RÉSULTATS 27
4.1 Fiabilité des technologies d'intérêt 27
4.2 Estimation de la demande 28
4.3 Coûts d'achat et de mise en oeuvre 28
4.4 Avantages 29
4.4.1 Économies résultant d'une réduction des dommages matériels, des morts et des blessés 29
4.4.2 Gains de temps de déplacement des voyageurs et des marchandises 29
4.5 Extrapolation du nombre d'accidents 31
4.6 Analyse coûts-avantages 32

5 CONCLUSIONS 36

RÉFÉRENCES 38

ANNEXES

A Questionnaires des sondages

B Liste des universités, bureaux de liaison entreprises-universités, fournisseurs, transporteurs, institutions ferroviaires et centres de recherche contactés en Amérique du Nord, en Europe et en Australie

C Documentation technique obtenue dans le cadre de la recherche documentaire

LISTE DES FIGURES

1 Balise autonome 12
2 Bloc d'alimentation sans coupure basse tension 13
3 Feu Carmanah, modèle 209 14
4 Feu Carmanah, modèle 509 14

LISTE DES TABLEAUX

1 Principales sources d'information pour la recherche documentaire 6
2 Liste de prix des panneaux solaires de CIMAT Power Systems 13
3 Liste de prix selon le nombre de feux commandés 14
4 Technologies ayant un potentiel d'application à l'identification de la position d'aiguilles à manœuvre manuelle 23
5 Nombre d'incidents et d'accidents ferroviaires en voie principale dus à des aiguilles à manœuvre manuelle en position renversée 31
6 Nombre extrapolé d'incidents et d'accidents ferroviaires dus à des aiguilles à manœuvre manuelle en position renversée (en voie principale seulement) 32
7 Résultats de l'analyse coûts-avantages compte non tenu de la valeur du temps de déplacement 34
8 Résultats de l'analyse coûts-avantages compte tenu de la valeur du temps de déplacement 35
9 Résultats de l'analyse de sensibilité 36

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ACFC	Association des chemins de fer du Canada
BST	Bureau de la sécurité des transports du Canada
CA	Courant alternatif
CC	Courant continu
CCC	Commande centralisée de la circulation (système de)
CDT	Centre de développement des transports
CN	Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada
CP Rail	Canadien Pacifique Limitée
DEL	Diode électroluminescente
GEHH	GE Harris Harmon
GPS	Système de positionnement global (*Global Positioning System*)
GSM	Réseau mondial de téléphonie mobile (*Global System for Mobile Communication*) (téléphone cellulaire)
LSF	Loi sur la sécurité ferroviaire (du Canada)
mi/h	Milles à l'heure
OTN	Réseau de transport ouvert (*Open Transport Network*)
PIB	Produit intérieur brut
R-AC	Rapport avantages-coûts
REFC	Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada
RF	Radiofréquences
ROV	Régulation de l'occupation de la voie
SSR	Système spécial de régulation
TC	Transports Canada
TRI	Taux de rentabilité interne
UNB	Université du Nouveau-Brunswick
VAN	Valeur actualisée nette
VHF	Ondes métriques (*Very High Frequency*)
VHLC	Vital Harmon Logic Controller
WCU	Compte-roues (*Wheel Counter Unit*)
ZPU	Unité de protection de zone (*Zone Protection Unit*)

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Introduction

Depuis 1990, trois accidents graves, avec morts et blessés, sont survenus à des trains de voyageurs dans des zones exemptes de signalisation. Ces accidents ont été imputés à l'absence de signaux indiquant à l'avance aux équipes des trains la position d'une aiguille à manœuvre manuelle située plus loin sur la voie. Il n'en fallait pas plus pour convaincre Transports Canada (TC) de la nécessité de trouver des technologies qui pourraient contribuer à réduire le nombre et la fréquence des accidents ferroviaires aux aiguillages situés en zones exemptes de signalisation.

C'est dans ce contexte que le Centre de développement des transports (CDT), au nom de la Direction générale de la sécurité ferroviaire de TC, a demandé au Groupe des transports de l'Université du Nouveau-Brunswick (UNB) d'effectuer un examen sur l'accessibilité de systèmes et d'équipements capables d'indiquer la position d'aiguilles à manœuvre manuelle dans des zones exemptes de signalisation.

Le groupe a préparé deux sondages : l'un à l'intention des universités et des centres de recherche, l'autre à l'intention des fournisseurs et fabricants (voir l'annexe A). Divers fournisseurs/fabricants et organismes du Canada, des États-Unis, d'Europe et d'Australie ont été sollicités. Tous n'ont pas répondu au sondage, mais les réponses reçues se sont avérées passablement intéressantes. Ainsi, d'après l'information obtenue, il est réaliste de songer à développer et appliquer une technologie fiable et peu coûteuse qui pourra détecter la position des aiguilles dans des zones exemptes de signalisation et transmettre cette information aux équipes de train.

Des rencontres avec des représentants de l'industrie ferroviaire ont eu lieu à Ottawa, Montréal, Toronto et Calgary. Une de ces rencontres a été combinée à la visite d'un site dans la subdivision Uxbridge, Toronto, où la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (CN) fait présentement l'essai d'un système.

Le présent rapport comporte cinq chapitres. Le premier contient l'introduction et expose le contexte, l'objectif et la portée de l'étude. Le chapitre 2 présente la méthodologie utilisée pour colliger l'information et donne un aperçu des résultats de la recherche documentaire, des sources de données et des entrevues et visites. Le chapitre 3 fait l'analyse des données, et le chapitre 4 offre un résumé des résultats de l'étude et d'une analyse coûts-avantages. Les conclusions et recommandations se trouvent au chapitre 5. Enfin, on trouvera aux annexes les questionnaires des sondages, la liste des personnes contactées pour les sondages et certains des documents techniques recueillis.

1.2 Contexte

Selon un rapport du Bureau de la sécurité des transports du Canada (BST), depuis 1991, il y a eu au moins six accidents lors desquels des trains sont arrivés à la hauteur d'un aiguillage en

position renversée sans que les équipes aient été averties de la situation au préalable. Selon le même rapport, de 1993 à 2000, il est arrivé en moyenne une fois par année que des trains de voyageurs arrivent à la hauteur d'un aiguillage à manœuvre manuelle laissé en position renversée dans une zone exempte de signalisation [1, p. 18]. C'est pourquoi le BST a recommandé que TC examine la façon dont la règle 104 du Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada (REFC), est mise en pratique dans les opérations sur le terrain afin de s'assurer que ces méthodes offrent aux trains une protection adéquate contre tout aiguillage orienté vers une voie autre que la voie principale et contre toute les collisions et les déraillements qui pourraient s'ensuivre. TC s'est plié à la recommandation du BST, répondant que l'industrie et le gouvernement avaient entrepris un grand nombre d'activités pour assurer le respect de cette règle en améliorant la formation, la supervision et l'application du règlement, et pour mettre en application d'autres mesures visant à protéger les trains circulant en zone exempte de signalisation. Plus précisément, TC a examiné les pratiques d'exploitation des compagnies ferroviaires pour s'assurer que les équipes des trains manœuvrent les aiguillages correctement, de façon à éviter que des trains arrivent inopinément à la hauteur d'aiguillages laissés en position renversée.

Depuis le début des années 1990, le CN travaille à la mise au point d'un dispositif indicateur de position d'aiguille qui avertirait d'avance les équipes des trains lorsqu'il se pourrait qu'un aiguillage ne soit pas orienté pour la voie principale [1]. TC a suivi et encouragé les travaux du CN, indiquant qu'un certain nombre d'autres initiatives étaient à l'étude, notamment des procédures radio, des limitations de vitesse et certains aspects du Système d'automatisation de la marche des trains (ATCS). TC participe activement à des initiatives axées sur la sécurité ferroviaire, notamment à titre de membre du U.S. Rail Safety Advisory Council. Les chemins de fer du Canada participent également à divers comités et organismes du secteur ferroviaire.

Actuellement, il existe trois méthodes de contrôle du mouvement des trains [1] : la commande centralisée de la circulation (CCC), la régulation de l'occupation de la voie (ROV) et le système spécial de régulation (SSR). En CCC, méthode qui est employée de façon généralisée au Canada, des circuits de voie reliés entre eux servent à indiquer l'occupation des voies principales, des voies d'évitement et des voies de triage à signalisation. La ROV, elle aussi largement répandue au Canada, est une version informatisée du cantonnement manuel, qui insiste sur une communication exacte et sur l'enregistrement de données exactes dans les activités ferroviaires. Quant au SSR, il offre des règles en vue de l'introduction d'un nouveau système de contrôle du mouvement des trains.

De mai 1999 à décembre 2000, 14 événements ont été signalés au BST au cours desquels des trains sont arrivés inopinément à la hauteur d'aiguillages de voie principale qui avaient été laissés en position renversée en zone exempte de signalisation. Quatre de ces événements mettaient en cause des trains de voyageurs [2]. Le rapport du BST conclut que, même si TC et l'industrie ferroviaire ont pris des mesures de sécurité importantes, il n'est pas certain que d'autres améliorations seront apportées et que les améliorations apportées se maintiendront à long terme.

En dépit des efforts déployés par TC pour mettre en place des mesures de prévention, les accidents ferroviaires n'ont pas vraiment diminué en zones exemptes de signalisation. En juillet 2000, TC convoquait une réunion de représentants des groupes intéressés, tant du gouvernement que de l'industrie, pour examiner les problèmes posés par les aiguillages de voie principale en

zone exempte de signalisation. L'industrie se voyait également demander de prendre des mesures pour réduire davantage les risques associés à la manœuvre des aiguillages de voie principale en zone exempte de signalisation.

Le 14 novembre 2000, le ministre des Transports a publié une injonction ministérielle aux termes de l'article 33 de la *Loi sur la sécurité ferroviaire* (LSF) concernant la manœuvre des aiguillages de voie principale en zone exempte de signalisation. L'injonction s'adressait à quatre grandes compagnies ferroviaires de compétence fédérale – au CN, à Canadien Pacifique Limitée (CP Rail), à VIA Rail Canada et à RailAmerica. Voici les mesures ordonnées par l'injonction :

1. Les trains de voyageurs ne doivent pas rouler à plus de 50 mi/h quand ils arrivent à la hauteur d'un aiguillage en direction de prise en pointe dans les zones exemptes de signalisation, jusqu'à ce que l'équipe puisse confirmer que l'aiguillage est orienté correctement pour laisser passer son train.

2. Tous les autres mouvements de trains, à l'exception des trains de marchandises dangereuses spéciales, ne doivent pas rouler à plus de 45 mi/h quand ils arrivent à la hauteur d'un aiguillage en direction de prise en pointe dans les zones exemptes de signalisation, jusqu'à ce que l'équipe puisse confirmer que l'aiguillage est orienté correctement pour laisser passer son train. Pour les trains de marchandises dangereuses spéciales, la vitesse maximale est de 40 mi/h plutôt que de 45 mi/h.

3. Tous les employés qui passent par des aiguillages de voie principale en zone exempte de signalisation ou en territoire de cantonnement automatique doivent communiquer immédiatement avec un autre employé, que ce soit de vive voix, par radio ou par un autre moyen de communication, pour confirmer qu'ils se sont conformés aux dispositions de la règle 104 du REFC, en annonçant que «l'aiguillage situé à *insérer l'emplacement et le nom* est de nouveau orienté pour la voie principale (ou est orienté pour une autre voie autorisée aux termes de la règle 104 *b*).» Les employés ne doivent pas laisser des aiguillages sans surveillance tant que les aiguillages en question n'ont pas été de nouveau orientés pour la voie principale (ou orientés pour une autre voie autorisée), et que la procédure de confirmation mentionnée ci-dessus n'a pas été répétée.

4. En plus des points indiqués précédemment, les compagnies ferroviaires susmentionnées doivent présenter des plans détaillés indiquant les mesures additionnelles qu'il faudra mettre en œuvre en vue de réduire davantage les risques associés à la manœuvre des aiguillages de voie principale en zone exempte de signalisation.

En avril 2001, TC organisait une rencontre avec les compagnies de chemin de fer concernées. Cette rencontre devait être l'occasion pour les compagnies de faire part des répercussions de l'injonction ministérielle sur leurs activités et de décrire les mesures permanentes qu'elles avaient prises ou qu'elles entendaient prendre pour respecter de façon permanente les exigences contenues dans l'injonction ministérielle.

Le 14 mai 2001, Transports Canada prorogeait l'injonction ministérielle pour une autre période de six mois.

Le même jour, en vertu de l'alinéa 19.(1)*a*) de la LSF, Transports Canada ordonnait à tous les chemins de fer sous réglementation fédérale de modifier la règle 104 du Règlement d'exploitation ferroviaire du Canada (REFC) dans les 150 jours à compter de la date de l'arrêté. Ces modifications devaient clarifier l'esprit et l'application de la règle et prévoir des mesures de sécurité additionnelles pour réduire les risques associés à la manœuvre des aiguillages de voie principale dans les zones exemptes de signalisation. Ces mesures devaient comprendre, sans s'y limiter, ce qui suit :

a) ralentissement des trains qui approchent d'aiguilles de voie principale en direction de prise en pointe dans des zones exemptes de signalisation, en l'absence de système donnant une indication physique avancée de la position de l'aiguille;

b) procédures de communication : avant de quitter l'endroit où une aiguille a été manœuvrée, un employé qualifié dans l'application du règlement doit confirmer auprès d'un autre employé qualifié que l'aiguille a été orientée en position normale;

c) procédures claires et nettes de manœuvre des aiguilles de voie principale, prévoyant toutes les circonstances (différents types de limites, zones de marche prudente ou triages, et l'application de «en usage»);

d) modification de toute autre règle pouvant être visée par la modification de la règle 104.

Au vu de ce qui précède, la Direction générale de la sécurité ferroviaire de TC a demandé au CDT d'entreprendre une étude sur des systèmes d'indication de la position d'aiguilles à manœuvre manuelle en zone exempte de signalisation. Le CDT a confié la réalisation de l'étude au Groupe des transports du département de génie civil de l'UNB.

1.3 Objectif et portée

L'étude avait pour objectif l'examen scientifique et technique des technologies existantes pouvant être utilisées pour avertir les équipes des trains de la mauvaise position d'une aiguille à manœuvre manuelle en zone exempte de signalisation. Elle comprenait une analyse coûts-avantages préliminaire dont l'objectif était l'obtention d'un aperçu général quant à la rentabilité de remplacer les systèmes manuels d'indication de position d'aiguilles par des dispositifs électroniques.

Les chercheurs ont repéré diverses technologies et ont réuni de la documentation technique sur celles-ci, de même que de l'information sur leurs coûts d'achat, d'installation et d'entretien. Pour une étude exhaustive de la question, des contacts ont été établis avec des chercheurs, des universités, des centres de recherche, des chemins de fer, des fournisseurs et des fabricants d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Australie.

Quant aux sondages, ils ont mis au jour des technologies diversifiées : systèmes de communication sans fil (système de positionnement global, radiocommunication, système à micro-ondes), signaux fixes le long de la voie, transmission de données et d'images, systèmes à fibres optiques, systèmes d'automatisation de la marche des trains, systèmes d'avertissement avancé, systèmes de détection de dangers.

2 MÉTHODOLOGIE ET SONDAGE

La préparation des sondages visant la collecte de données techniques a comporté ce qui suit :

a) Revue des ressources techniques offertes par les bibliothèques de l'UNB. Au nombre de ces ressources figuraient des rapports d'accidents ferroviaires (Bureau de la sécurité des transports du Canada), des documents du *Transportation Research Record* (Transportation Research Board, É.-U.) et des articles de *Réflexions sur la sécurité ferroviaire* (BST).

b) Recherche poussée sur Internet. Les résultats de cette recherche et l'information communiquée par le comité de direction de l'étude ont permis aux chercheurs d'établir une liste de fournisseurs, fabricants et organisations du domaine des transports avec qui ils sont entrés en contact par courriel, téléphone et télécopieur. La liste comportait également des établissements de recherche situés en Europe et en Australie. On trouvera à l'annexe B la liste complète des organismes contactés de même que de brefs commentaires sur leurs réponses.

c) Collecte d'opinions et de commentaires auprès d'universités et de bureaux de liaison entreprises-universités du Canada. (Voir la liste de ces établissements à l'annexe B). Une relance a été faite auprès des institutions dont l'apport semblait particulièrement précieux.

d) Élaboration de deux questionnaires (voir l'annexe A) et envoi de ceux-ci par courriel ou télécopieur à des organisations choisies.

e) Contacts avec des fournisseurs et des fabricants. En cas de réaction favorable, d'autres contacts ont suivi : invitation à répondre au questionnaire, à participer à des entrevues téléphoniques et à transmettre, par courriel et par télécopieur, de l'information technique et générale sur leurs technologies.

f) Envoi de questionnaires à des universités et des centres de recherche en transports des États-Unis. La liste des ces établissements figure à l'annexe B.

g) Visites à Ottawa, Montréal, Toronto et Calgary, pour recueillir les opinions et les commentaires de représentants de TC, du CDT, du CN, de CP Rail et de l'Association des chemins de fer du Canada (ACFC). Une réunion a aussi eu lieu avec les représentants de la Fraternité des ingénieurs de locomotives.

h) Visite d'un site dans la subdivision Uxbridge, à Toronto, là où un système développé par le CN est l'objet d'un essai sur le terrain depuis octobre 2000.

2.1 Recherche documentaire

Diverses sources documentaires ont été explorées : Internet, bibliothèque de l'UNB, TC, BST, fournisseurs/fabricants de technologies potentielles, spécialistes. La documentation consultée comprenait des brochures, des rapports de recherche, des documents vidéo, des CD-ROM et des réponses reçues par courriel. L'annexe C présente les résultats de cette recherche.

La recherche documentaire a révélé l'existence de technologies standard capables, selon toute vraisemblance, d'indiquer la position d'une aiguille à manœuvre manuelle dans des zones exemptes de signalisation. Certains fabricants, dont ARS Networks Inc., Foster Technologies Inc. et CIMAT Power Systems, se disent en mesure de fournir des systèmes complets et faciles à mettre en œuvre. D'autres, dont Carmanah Railway Lights, GE Harris Harmon (GEHH), LaBarge Inc., peuvent fournir des composants qui, intégrés à l'infrastructure existante, peuvent indiquer la position de l'aiguille et transmettre d'avance un avertissement aux équipes des trains.

Le tableau 1 présente un résumé des principales sources d'information consultées au cours de la recherche documentaire, et des suivis effectués. L'annexe C donne un aperçu des résultats de la recherche documentaire.

Tableau 1 Principales sources d'information pour la recherche documentaire

Établissements	TOTAUX	
	Contactés	Réponses utiles
Universités canadiennes	29	16
Bureaux de liaison entreprises-universités	12	3
Organismes/fournisseurs/fabricants	60	49
Autres universités et centres de recherche*	13	10
Universités/centres de recherche des États-Unis	21	9
Chemins de fer sur courtes distances du Canada	21	4
TOTAL	**156**	**91**
Pourcentage de réponses	58,3	
Autres (sites Internet)	200	-

* *Comprend l'Europe et l'Australie*

2.2 Sources de données

Sont énumérées ci-après les principales sources de données utilisées pour établir le présent rapport. Voir à l'annexe B la liste des personnes/entreprises/organisations contactées.

2.2.1 Répertoire des fournisseurs et fabricants

La consultation de plus de 200 sites Web a permis de répertorier les entreprises qui fabriquent des systèmes ou des technologies susceptibles d'être utilisés pour indiquer la position d'aiguilles ferroviaires.

Du nombre des entreprises ainsi recensées, quelques-unes ont été sélectionnées pour une prise de contact initiale. Chacune a reçu un questionnaire qui lui demandait de fournir de l'information détaillée sur les produits/technologies pouvant avoir une application au domaine qui nous occupe. On trouvera à l'annexe B la liste des fournisseurs et fabricants les plus intéressants avec qui des contacts ont été établis.

2.2.2 Répertoire des transporteurs

De l'information a également été glanée chez certaines compagnies de chemin de fer, dont le CN et CP Rail. De plus, 21 chemins de fer sur courtes distances du Canada ont été interrogés sur le nombre d'aiguilles à manœuvre manuelle équipant leurs voies ferrées en zone éloignée, et sur le nombre de milles de voie ferrée fréquentée uniquement par des trains de marchandises et à la fois par des trains de voyageurs et de marchandises.

Des contacts directs ont été établis avec des représentant du CN et du CP. Ces contacts avaient pour but de recueillir des opinions et commentaires de première main sur les solutions au problème, les contraintes, la demande, le rendement potentiel du capital investi et les technologies et/ou produits existants.

2.2.3 Répertoire des universités

Des universités canadiennes et des bureaux de liaison et de transfert technologique entreprises-universités ont été sélectionnés en vue du sondage. Des universités et des centres de recherche en transports des États-Unis, de même que des universités et centres de recherche d'Europe et d'Australie et d'autres parties du monde ont également été contactés.

2.3 Entrevues et visites

Des rencontres ont été organisées avec des représentants de TC, de l'ACFC, du CN, de CP Rail, de la Fraternité des ingénieurs de locomotives et d'autres établissements. Une visite a en outre eu lieu dans la subdivision Uxbridge, à Scarborough, où le CN met un système à l'essai.

Voici les liste des personnes rencontrées :

- Daniel Lafontaine (TC, Ottawa)
- Dennis Hutton (TC, Ottawa)
- Peter Birtwistle (TC, Ottawa)
- Peter Mayer (TC, Ottawa)
- Dough J. Vollick (TC, Surface, Toronto)
- Mike Lowenger (ACFC)
- Mike Regimbal (ACFC)
- Ray B. Kroeker (CN)
- Terry O'Shell (CN)
- Robert Nash (CP Rail)
- Benoit Brunet (Fraternité des ingénieurs de locomotives)

3 ANALYSE DE LA DOCUMENTATION RECUEILLIE

3.1 Discussion des documents pertinents

Cette section porte sur les technologies/systèmes qui semblent répondre entièrement ou partiellement aux exigences des systèmes manuels d'indication de position d'aiguilles.

- Il devrait être relativement facile d'équiper une locomotive d'un système de localisation par système de positionnement global (GPS). En effet, il suffirait d'établir les coordonnées GPS de chaque aiguillage et de faire en sorte qu'une alarme se déclenche dans la cabine de la locomotive chaque fois que celle-ci s'approche d'un aiguillage. L'équipe de train n'aurait qu'à observer les signaux de position des aiguilles à manœuvre manuelle pour s'assurer qu'elles sont dans la position correcte.

  Il serait possible de perfectionner ce système en y ajoutant un détecteur de position d'aiguille peu coûteux et un émetteur à courte distance. À l'approche d'une aiguille, l'équipe de train recevrait un message qui lui indiquerait à la fois l'emplacement et la position de l'aiguille.

- Un système de surveillance par caméra vidéo a également été envisagé; mais ce genre de système n'est pas nécessairement performant dans la brume, la forte pluie ou la neige.

- La recherche documentaire a permis de relever plusieurs façons de surveiller la position de l'aiguille :

  - détecter la position d'un aimant fixé à l'aiguille, par rapport à un capteur en voie;
  - mesurer la conductivité (p. ex., relier l'aiguille à une résistance variable, puis mesurer la tension ou le courant entre ces deux points);
  - aligner optiquement une paire diode électroluminescente (DEL)/photodiode ou un détecteur de proximité au laser;
  - utiliser un détecteur de proximité à ultrasons ou un détecteur de proximité radar.

- L'opportunité d'alimenter le système à l'énergie solaire dépend des besoins en énergie et en puissance des divers organes du système. Si le système est à batteries, les questions de température, de tests automatiques et d'entretien deviennent alors importantes. Il convient également de tenir compte du coût. Dans le cas où une alimentation secteur est accessible, l'option solaire devient assez onéreuse, mais en région éloignée, elle peut représenter une solution économique.

- Les systèmes de communication pourraient s'articuler autour d'un centre de commande centralisée de la circulation (CCC) qui colligerait l'information sur les aiguilles et transmettrait à chaque train arrivant à la hauteur d'une aiguille la position de celle-ci. On pourrait aussi envisager un dispositif à faible largeur de bande que le train activerait pour interroger l'aiguille depuis une certaine distance préétablie.

- Certaines des solutions explorées avaient recours à des signaux indicateurs le long de la voie et aux radiofréquences (RF) pour les transmissions. Mais aucune ne s'est révélée pratique et économique. Un critère décisif de la mise en œuvre et/ou de la production d'une technologie est le rendement du capital investi. Il existe présentement des systèmes de télécommande d'aiguilles par radiocommunication. Toutefois, ces systèmes ne sont utilisés qu'à faible vitesse, dans des gares de triage, par exemple, ou lorsque les aiguilles sont très rapprochées les unes des autres.

- On pourrait penser à un système de télédétection des dangers par GPS. Ainsi, un dispositif de détection peu coûteux à l'emplacement de l'aiguille pourrait être relié à un appareil embarqué peu coûteux et avertir à l'avance le mécanicien de locomotive si l'aiguille n'est pas dans la position correcte. Il suffirait que l'aiguille à manœuvre manuelle produise (ou soit modifiée pour produire) un ensemble de contacts électriques indiquant sa position (des contacts fermés ou ouverts sont tout ce qu'il faut). Ce système pourrait être alimenté par l'énergie solaire ou par le courant secteur. Un tel système a été mis à l'essai au Worcester Polytechnic Institute. Le concepteur évalue le coût du prototype à environ 500 $US par aiguille. Pour 100 aiguilles, on pourrait envisager un prix unitaire cible de l'ordre de 500 $US à 1 000 $US. Le coût approximatif des éléments de quincaillerie nécessaires à l'installation de l'appareil embarqué varierait de 1 000 $US à 1 500 $US. Les coûts d'installation et d'entretien seraient minimaux. Mais le coût de l'appareil embarqué n'est pas inclus.

- Le recours à un système centralisé de surveillance de la position des aiguilles risque de poser plusieurs problèmes. Premièrement, une telle solution nécessite d'importantes dépenses d'infrastructure : il s'agit en effet d'assurer la transmission de données de la voie ferrée au centre de surveillance, puis au mécanicien de locomotive. Deuxièmement, l'entretien du système et de l'infrastructure, de même que l'embauche et la formation d'opérateurs entraîneraient des déboursés importants.

- Une caméra vidéo embarquée capable de détecter une aiguille à manœuvre manuelle pourrait se révéler inefficace la nuit ou par mauvais temps, la caméra étant alors incapable de «voir» l'indicateur de la position de l'aiguille. L'imagerie infrarouge pourrait atténuer les problèmes

de visibilité nocturne, mais ne serait d'aucune utilité par mauvais temps. Un système de surveillance par caméra vidéo risquerait en outre de distraire l'équipe de train de ses autres tâches. On pourrait penser, pour pallier ce problème, à une certaine forme de télémesure active (c'est-à-dire la diffusion en continu, par l'aiguille, de sa position), ou à un radar ou un sonar qui permettrait de localiser l'aiguille depuis la locomotive. Encore là, ces options pourraient se heurter à des obstacles sur les plans du rendement spectral ou de la ligne de visibilité.

- La société Union Switch & Signal de Pittsburgh, Pennsylvanie, É.-U., est au courant de projets visant des systèmes de détermination de la position de l'aiguille qui utilisent des indicateurs en bordure de voie et les RF pour les transmissions. Mais cette entreprise est avant tout préoccupée de savoir si le marché est prêt à appuyer le développement d'une telle technologie et à garantir un rendement raisonnable du capital investi.

- Les produits de Power Conversion Products LLC assurent des fonctions de surveillance locale et à distance de circuits d'alimentation en courant continu (c.c.) (redresseurs, batterie et tableau de distribution) et de contrôle, local et à distance, d'états et de conditions d'alarmes, de même que certaines fonctions de commande. Les fonctions de commande se limitent à la fixation des cotes d'alerte, à l'activation des sectionneurs tension simple ou bitension, et le rappel automatique par ligne téléphonique.

- Le département d'électronique et de génie électrique de l'Université Strathclyde, au Royaume-Uni, effectue des recherches sur les aiguillages. Il a notamment participé au développement d'un système de communication vidéo entre le train et la voie utilisant des canaux du réseau mondial de téléphonie mobile (GSM), une technologie qui pourrait trouver une application dans la surveillance de la position d'une aiguille. Mais il resterait à étudier les caractéristiques précises de fonctionnement de cette technologie. Le département a fait remarquer que plusieurs innovations technologiques, dont les stations de base mobiles, sont d'ores et déjà une réalité au Royaume-Uni.

- Le CN a mis au point une technologie pour l'indication de la position des aiguilles dans des zones exemptes de signalisation. Le système est à l'essai depuis octobre 2000. Une analyse du registre de données révèle que le système est fiable et qu'il répond aux besoins, à savoir indiquer la position d'une aiguille à manœuvre manuelle et transmettre un signal d'avertissement à un train qui approche.

  Le système comprend ce qui suit :

  - un enregistreur de données (qui enregistre l'information touchant la manœuvre de l'aiguille);
  - un appareil radio qui transmet le signal concernant la position de l'aiguille;
  - deux antennes directionnelles (SCADA LINK - BENTEK SYSTEMS) qui transmettent et reçoivent l'information sur la position de l'aiguille (normale ou renversée);
  - un ensemble de quatre batteries qui fournissent une alimentation de secours;
  - un panneau solaire qui charge les batteries;

- des signaux lumineux alimentés par les batteries;
- des dispositifs d'interconnexion de l'aiguille à l'enregistreur de données et aux signaux lumineux.

Le contrôleur du circuit d'aiguille surveille la position des lames d'aiguilles. Si celles-ci sont en position renversée (écart de plus de ¼ po avec la voie principale), un signal radio active un relais de la station de réception qui déclenche à son tour le clignotement d'un feu rouge. Si la position de l'aiguille est normale (à une distance inférieure à ¼ po de la voie principale), le feu blanc reste allumé. En cas de défaillance de l'un ou l'autre composant du système, le feu rouge clignotant s'active. Si les feux ne donnent aucune indication (c.-à-d., si un fusible est brûlé), l'équipe de train doit tenir pour acquis que le feu rouge clignote et immobiliser complètement le train. Pour de plus amples détails sur ce système, consulter l'annexe C. Le coût estimatif d'un système simple s'élève à 13 000 $CAN. Le coût d'un système installé en courbe est évalué à 35 000 $CAN. Les coûts d'entretien seraient négligeables.

- CIMAT Power Systems de Pointe-Claire, Québec, Canada, vend des éléments de circuits d'alimentation c.c. de qualité supérieure, spécialement adaptés aux équipements situés en région éloignée. La société produit également des balises autonomes qui peuvent être incorporées au système de signalisation pour avertir l'équipe de train de la position d'une aiguille à manœuvre manuelle. L'installation paraît simple et les besoins d'entretien sont minimaux. Les lignes de visibilité pourraient toutefois poser problème. Le système est alimenté en 12 volts c.c. Chaque système est composé des éléments suivants :

  - ensemble DEL longue durée (10 à 15 ans);
  - panneaux solaires longue durée (environ 20 ans) avec supports;
  - composants électroniques transistorisés avec dispositif parafoudre et limiteur de surtension;
  - batteries longue durée à décharge poussée, tolérantes au gel;
  - caisson porte-batterie (mise à la terre et poteau à la masse);
  - câblage et dispositifs d'interconnexion des composants.

  La balise à alimentation solaire coûte 3 321 $CAN, taxes non incluses. Les feux sont verts et rouges (un feu blanc serait plus cher). Le prix comprend tous les organes d'alimentation (batteries), de commande, de protection contre la foudre et de montage, à l'exception du poteau et du boîtier et du support de montage des feux (ceux-ci peuvent être fournis moyennant des coûts additionnels). Les batteries possèdent une autonomie nominale de sept jours à -20 °C. Si la tension baisse à un moment ou l'autre, les feux se mettent à clignoter, indiquant la nécessité d'une vérification ou d'une mesure d'entretien. La figure 1 présente un diagramme des composants du système.

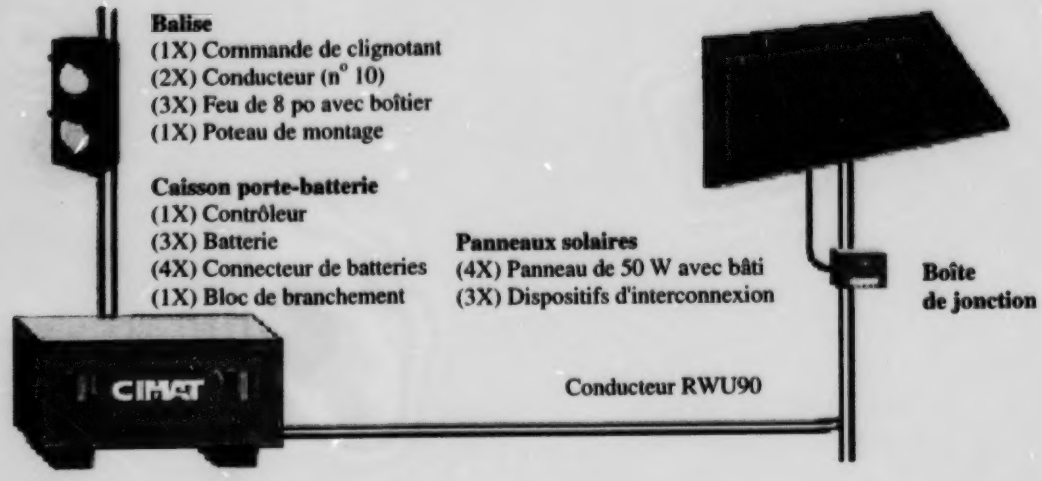

Figure 1 ***Balise autonome***
Source : CIMAT Power Systems (www.cimat.com)

CIMAT Power Systems offre également un bloc d'alimentation c.c. basse tension dont la version standard comprend les éléments suivants :

- boîtiers et composants inviolables;
- enregistreur de données programmable à 4 circuits;
- composants électroniques transistorisés avec dispositif parafoudre et limiteur de surtension;
- batteries longue durée à décharge poussée, tolérantes au gel et nécessitant peu d'entretien;
- protection de circuit contre une charge excessive ou insuffisante;
- câblage et dispositifs d'interconnexion des composants;
- indicateur de l'état du circuit en temps réel.

Ce véritable bloc d'alimentation sans coupure, illustré à la figure 2, coûterait 1 326 $CAN, taxes non incluses. Le système comprend tous les organes d'alimentation, de commande, de protection contre la foudre et de montage, à l'exception du poteau et du boîtier et du support de montage des feux. Les batteries possèdent une autonomie nominale de 18 heures à -20 °C.

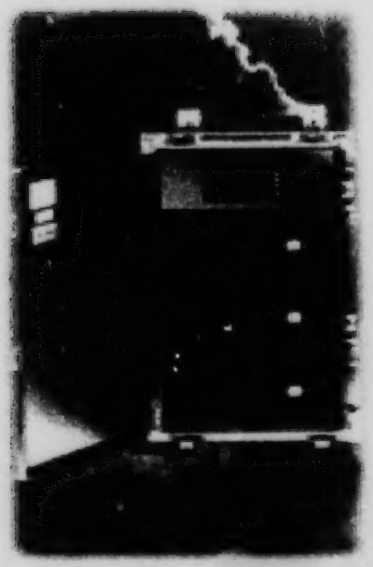

Figure 2 Bloc d'alimentation sans coupure basse tension
Source: CIMAT Power Systems (www.cimat.com)

CIMAT est également fournisseur de panneaux solaires. Voici une liste de prix de ces produits :

Tableau 2 Liste de prix des panneaux solaires de CIMAT Power Systems

N° pièce	Puissance (watts)	Tension nominale	Prix ($US)	Prix ($CAN)	Dimensions	Garantie du fabricant (années)	Coût par watt ($US)
MSX-120/12	120	12	870,97	1,350	45 x 39 x 2 po	20	7,26
MSX-120/24	120	24	870,24	1,350	44 x 26 x 2 po	20	7,26
MSX-0.83	83	6 ou 12	611,61	948	44 x 26 x 2 po	20	7,37
MSX-077	77	6 ou 12	554,84	807	44 x 20 x 2 po	20	7,21
MSX-064	64	6 ou 12	484,14	702	44 x 20 x 2 po	20	7,56
MSX-060	60	6 ou 12	465,81	722	44 x 20 x 2 po	20	7,28
MSX-056	56	6 ou 12	408,39	633	44 x 20 x 2 po	20	7,29
LBK-050	50	6 ou 12	336,13	521	37 x 20 x 2 po	10	5,72
BPS-090	90	12	580,65	900	47 x 20 x 1,5 po	20	6,45
BPS-075	75	12	483,87	750	47 x 20 x 1,5 po	20	6,45
CRM-075	75	12	398,71	618	46 x 21 x 1,8 po	12	5,32
CRM-065	65	12	338,71	625	46 x 21 x 1,8 po	12	5,21
CRM-060	60	12	321,29	498	46 x 21 x 1,8 po	12	5,35
CRM-050	50	12	299,35	464	38 x 17 x 1,6 po	12	5,99

* *Prix sujets à changement à tout moment*
Source : CIMAT Power Systems (www.cimat.com/products/price_list.html)

- Carmanah Railway Lights, de Victoria, Colombie-Britannique, Canada, fournit, parmi ses produits, des dispositifs d'éclairage de sécurité ferroviaire et de balisage des dangers. L'entreprise offre également un feu DEL à l'énergie solaire sans entretien supposément facile à installer et promettant un fonctionnement fiable pendant une période pouvant atteindre cinq ans.

  Deux modèles sont présentement offerts :

  - le modèle 209 pour une signalisation directionnelle à lumière bleue (voir la figure 3);
  - le modèle 509 (lumière bleue - 360°) (voir la figure 4).

  Ces feux, alimentés par l'énergie solaire, peuvent être installés temporairement ou en permanence partout où un avertissement directionnel à lumière bleue est nécessaire. Ils sont complètement autonomes et ne nécessitent aucun entretien pendant toute leur durée de vie, qui peut atteindre 5 ans. Une fois installé, le feu se charge pendant le jour, même sous un couvert nuageux, et s'allume automatiquement pour émettre un signal lumineux fixe ou clignotant de couleur bleue dans le noir.

  Le coût unitaire approximatif est de 199 $US pour le modèle 209 et de 229 $US pour le modèle 509. Le tableau 3 donne les prix selon le nombre de feux commandés.

Tableau 3 Liste de prix selon le nombre de feux commandés

Article	Nombre de feux commandés				
	1 – 5	6 – 20	21 – 50	51 – 100	> 100
Modèle 209	199 $	179,10 $	$169,15 $	159,20 $	149,25 $
Modèle 509	229 $	206,10 $	194,65 $	183,20 $	171,75 $

Ces feux ont la réputation d'être extrêmement durables, étanches et à l'épreuve du vandalisme. Ils n'ont besoin d'aucune source d'alimentation externe et il n'y a pas de batterie à changer. Ils sont offerts en différentes couleurs (rouge, bleu, ambre, vert, bleu et blanc).

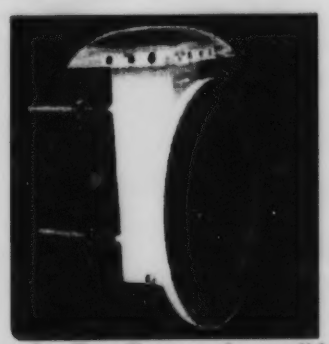

Figure 3 Feu Carmanah, modèle 209

Figure 4 Feu Carmanah, modèle 509

On trouvera de plus amples détails sur ces produits à l'annexe C.

- Siemens ATEA de Austin, Texas, É.-U., a fourni de l'information technique sur un réseau de transport ouvert (OTN, pour *Open Transport Network*). Il s'agit d'un système de transmission qui utilise la technologie des fibres optiques. Les signaux en provenance des détecteurs de boîte chaudes, des détecteurs de charge d'impact à la roue et des systèmes d'automatisation de la marche des trains sont transmis aux multiplexeurs de l'OTN et retransmis à un centre de commande de la circulation par l'intermédiaire d'un double anneau de fibres optiques.

  La tolérance aux failles du chemin de fer est garantie par les nœuds de l'OTN, qui sont reliés en un anneau double. Cette structure permet au réseau de pallier les ruptures de câbles et les défaillances d'autres composants, sans que soient touchés les dispositifs reliés aux nœuds. Cela garantit une disponibilité optimale du réseau et du chemin de fer. Il peut y avoir jusqu'à 150 km de distance entre les nœuds, ce qui autorise des anneaux de plus de 2 000 km.

  Des représentants de Siemens ATEA sont d'avis que si le but est d'établir un câble entre les aiguilles à manœuvre manuelle et un nœud de réseau à fibres optiques, on pourrait mettre à profit certaines technologies Siemens ATEA existantes pour transmettre la position des aiguilles à un nœud éloigné, aux fins de retransmission à un régulateur ou d'interfaçage avec un réseau de radiocommunication existant. Toutefois, la technologie OTN peut s'avérer par trop coûteuse si on n'a pas l'intention de transmettre d'autres données (phonie et images) : il serait alors difficile de rentabiliser les coûts d'installation de câbles de fibres optiques. Ainsi, ces technologies ne semblent pas représenter une solution économique pour le moment. Pour de plus amples renseignements, se reporter à l'annexe C.

- L'information ci-après a été recueillie sur Internet et au cours d'échanges de courriels et de conversations téléphoniques avec des représentants de GEHH.

  GEHH ne produit pas de dispositif expressément conçu pour indiquer la position d'une aiguille à manœuvre manuelle. Mais, en supposant qu'une alimentation électrique soit disponible dans les régions éloignées, certains de ses systèmes pourraient s'avérer intéressants. Ainsi, l'entreprise propose un système appelé Vital Harmon Logic Controller (VHLC) qui pourrait être utilisé pour allumer une lampe lorsque l'aiguille est en position normale. Le VHLC assure normalement la commande de moteurs d'aiguilles et la commande directe de feux et de mécanismes de signalisation.

  GEHH offre un autre produit intéressant, soit un détecteur de position d'aiguille transistorisé. Le système comprend deux unités logiques programmables et des détecteurs de proximité montés sur chaque lame d'aiguille. Ces détecteurs vérifient la position de l'aiguille.

  GEHH fabrique également un appareil désigné DEMA – Monitor/Annunciator (dispositif de contrôle et d'avertissement). Cet appareil surveille les passages à niveau et les points de commande des signaux, et signale tout danger aux équipes des trains via une radio à ondes métriques (VHF) embarquée. Il est possible d'ajouter des programmes au dispositif pour accroître sa capacité de contrôle et d'alerte.

Aucune information détaillée n'a pu être obtenue sur les coûts d'achat, d'installation et d'entretien des systèmes. Pour une description de ces systèmes et certaines données techniques, consulter l'annexe C.

- Kapsch AG - Railway Communications Systems, une entreprise autrichienne, fabrique des systèmes de régulation de la circulation et des systèmes de communication à l'intention des transporteurs routiers et ferroviaires. L'entreprise a transmis certains renseignements techniques sur ses systèmes de radiocommunication pour l'industrie ferroviaire. Ces technologies sont toutefois déjà offertes par des entreprises nord-américaines. Pour de plus amples détails, se reporter à l'annexe C.

- Les commentaires et opinions ci-après sur des solutions possibles au problème de l'indication de la position d'une aiguille ont été formulés par une personne contactée au Centre for Transportation Studies du Massachusetts Institute of Technology :

  Il existe sur le marché des solutions au problème de l'indication de la position d'une aiguille. Toute solution doit être fondée sur la mesure ou la surveillance de la position physique d'une pièce mobile.

  Au nombre des solutions possibles, on peut mentionner la détection de la position d'un aimant sur l'aiguille par rapport à un capteur en voie, et une autre, qui consisterait à relier l'aiguille à une résistance. Selon la position de l'aiguille, une tension ou un courant apparaîtrait, ce qui déclencherait un signal d'avertissement (sonore ou visuel) destiné aux équipes des trains.

- Le Worcester Polytechnic Institute du Massachusetts, aux États-Unis, a développé un système de détection des dangers ferroviaires qui a été mis à l'essai avec succès à bord d'une locomotive. La technologie, dont le potentiel ne fait pas de doute, doit maintenant faire l'objet d'un essai à grande échelle.

  Le système comprend trois composants :

  - Un récepteur GPS embarqué. Les données d'identification de l'aiguille et la distance de l'aiguille s'affichent sur l'écran DEL du récepteur. Le système détecte les aiguilles dans un rayon de deux milles. Lorsque le train pénètre dans la zone de détection, un signal lumineux avertit l'équipe de train de la présence d'une aiguille. Le système effectue alors une vérification de la position de l'aiguille par émetteur-récepteur. Selon le résultat de la vérification, un voyant s'allume sur l'indicateur embarqué (en vert en cas de position CORRECTE, en rouge, en cas de position INCORRECTE). Si l'indication est un voyant rouge, un signal sonore se fait entendre.
  - Un programmateur à main, qui sert à colliger les coordonnées GPS des aiguilles éloignées et à les transmettre à une base de données.
  - Un dispositif d'aiguille, monté sur un poteau à proximité de l'aiguille. Ce dispositif, relié à la voie par l'aiguille standard, coupe le courant vers l'émetteur-récepteur lorsque le rail est éloigné de plus de ¼ po de la voie principale. Comme aucune communication ne peut

être établie entre l'émetteur et le récepteur GPS, un message de position «incorrecte» est transmis à l'équipe de train.

Ce système peut détecter les dangers posés par des aiguilles à une distance de deux milles et donne ainsi à l'équipe de train amplement de temps pour immobiliser le train, au besoin.

Selon les concepteurs, la conjugaison d'un système de détection des dangers peu coûteux, utilisant le GPS et situé à l'emplacement de l'aiguille, et d'un appareil bon marché dans la locomotive, peut donner au mécanicien un avertissement avancé de la position incorrecte de l'aiguille. Tout ce qu'exige ce système, c'est un ensemble de contacts électriques sur l'aiguille pour indiquer sa position (normale ou renversée).

- Au cours d'une conversation téléphonique, Bill Moore Ede, de CANAC Inc., Montréal, Québec, Canada, a déclaré qu'il existe des technologies commerciales pour résoudre le problème de l'indication de la position d'une aiguille. Ces technologies, faciles à mettre en œuvre, rendraient plus sûr le réseau ferroviaire. Il a souligné l'importance d'établir des normes et règlements appropriés pour que les technologies garantissent efficacement la sûreté des opérations ferroviaires dans toute l'Amérique du Nord.

- Une proposition technique a été reçue de ARS Networks Inc. de Champlain, New York, É.-U. Le système proposé comprend les éléments suivants :

  - Deux transducteurs montés sur la tringlerie de manœuvre des lames d'aiguille, qui indiquent la position de l'aiguille, ouverte ou fermée. Les transducteurs sont reliés par câble à un processeur nodal monté sur un poteau le long de la voie.
  - Un processeur nodal, c'est-à-dire un microprocesseur qui reçoit les signaux des transducteurs et les convertit en signaux transmissibles aux dispositifs de commande des feux indicateurs.[1]
  - Un ensemble de signaux lumineux. Le système peut être relié à un, deux ou trois feux, selon l'emplacement et les besoins du client. Lorsque les lignes de visibilité posent problème, au moins deux feux sont nécessaires, un dans chaque direction depuis l'aiguille.
  - Un émetteur radio à spectre étalé, nécessaire dans les installations comportant plusieurs feux pour relayer l'indication de la position de l'aiguille aux feux éloignés. Des antennes directionnelles transmettent l'information de signalisation.

  Les poteaux et le caisson de sécurité pour les batteries sont également fournis.

  Le processeur nodal vérifie continuellement les transducteurs et leur indication. Il convertit cette information en une commande d'indication lumineuse. Dans la version à plusieurs feux, cette commande est relayée par radio à spectre étalé aux feux éloignés.

---

[1] La conception et les caractéristiques du processeur n'ont pas été divulguées. Il s'agit d'information exclusive à ARS Networks.

Coût du système

Le fabricant fournit un système constitué comme suit :

- transducteurs;
- processeur nodal;
- antennes;
- feux;
- émetteurs radio à spectre étalé;
- poteau et caisson de sécurité pour les batteries.

Voici le coût d'un système, installation non comprise, moyennant un achat minimal de 10 systèmes :

- 10 000 $US pour un système à un feu
  (un feu bidirectionnel le long de la voie, près de l'aiguille)

- 25 000 $US pour un système à trois feux
  (un feu bidirectionnel près de l'aiguille et deux feux à distance, le long de la voie)

Le système de base est conçu en fonction de l'existence d'une source d'alimentation électrique en bordure de la voie. Dans le cas contraire, des panneaux solaires peuvent être installés, moyennant des frais additionnels. Ce système optionnel d'alimentation à l'énergie solaire comprend le panneau solaire et la batterie de secours. Les prix peuvent varier, selon les besoins du client et la taille des panneaux, mais on estime à 2 000 $US le coût de chaque panneau solaire, et à 2 500 $US environ celui des batteries.

Le système est à sécurité intégrée, c'est-à-dire que tous les feux s'éteignent lorsque la position de l'aiguille est indéterminée ou douteuse. En cas de panne d'alimentation, les feux s'éteignent, donnant l'indication la plus restrictive à l'équipe de train, à savoir de se préparer à arrêter à la hauteur de l'aiguille.

Aucun équipement embarqué n'est nécessaire. L'avertissement est donné par des feux de signalisation que l'on doit observer visuellement. Des dispositifs embarqués pourraient être intégrés au système, qui serait alors plus coûteux. Le cas échéant, la locomotive devrait être équipée d'un récepteur qui recevrait des signaux radio d'un microprocesseur spécial. Ces ajouts seraient coûteux, à moins que les locomotives soient déjà équipées de matériel compatible.

- EVA Signal Corporation d'Omaha, Nebraska, É.-U., a également été contactée par téléphone. Un représentant des ventes a indiqué que sa compagnie ne fabrique aucun système ni technologie qui pourrait servir à indiquer la position d'aiguilles. La société fabrique toutefois des systèmes de détection automatique des trains, des systèmes d'avertissement pour passages à niveau, des systèmes d'avertissement en cas de trains s'approchant de zones de travaux, etc. Selon le représentant contacté, aucun de ces systèmes ne pourrait être adapté pour indiquer à l'avance la position d'aiguilles à manœuvre manuelle aux équipes des trains.

- Des contacts ont été établis avec Foster Technologies Inc., une division de L.B. Foster Company de Burlington, Ontario, Canada. Lors d'une visite de l'Exposition ferroviaire tenue à Moncton, Nouveau-Brunswick, du 6 au 8 juin 2001, une information de première main a été obtenue sur un Système de protection d'aiguille (SPPS, pour *Switch Point Protection System*) fondé sur le principe du comptage des arrivées/départs. Pour de plus amples détails sur l'installation, l'exploitation et l'entretien de ce système, se reporter à l'annexe C.

  Voici les éléments de base du système :

  - Capteurs – Compte-roues (WCU, *Wheel Counter Unit*)
  - Unité de protection de zone (ZPU, *Zone Protection Unit*)
  - Ensembles de commande

  Les capteurs du compte-roues sont montés à chaque extrémité de la zone de protection, ce qui dispense d'avoir à couper les deux rails et à installer des joints isolants. En comptant le nombre de roues qui entrent dans une zone précise ou qui en sortent, les capteurs peuvent déterminer si du matériel se trouve dans la zone. Les roues qui entrent entraînent un compte positif et celles qui sortent, un compte négatif. Une simple logique d'addition détermine s'il y a un essieu dans la zone et désactive un signal, à moins que le compte total soit zéro. Les capteurs peuvent aussi détecter dans quelle direction se déplace le train : ainsi, les trains qui s'immobilisent ou qui reculent ne posent pas de problème au système.

  L'unité de protection de zone (ZPU) interroge le compte-roues (WCU) toutes les 50 ms. Lorsque celui-ci détecte un train entrant dans la zone (compte de roues positif), le signal à liaison par transformateur est désactivé, pour mettre en garde contre la manœuvre de l'aiguille. Lorsque le train quitte la zone (compte de roues négatif), le compte de roues net tombe à zéro et le signal est rallumé. Le rappel automatique des aiguilles (*autoline*) est offert pour les cas où des trains abordent l'aiguillage par le talon, quelle que soit la position de l'aiguille; deux autres bornes de sortie sont configurées à cette fin : le système peut être programmé en conséquence. Dix secondes après que la dernière roue a franchi l'aiguille renversée et a quitté la zone protégée, l'aiguille revient à la position normale, à moins qu'un autre train soit entré dans la zone protégée.

  Le coût total d'un système complet est évalué à environ 20 000 $CAN, montant qui comprend les coûts d'installation. Le système ne devrait nécessiter qu'un entretien minimal : inspections tous les trois mois pour vérifier l'état des composants et le réglage du système. Pour une information complète sur l'installation et l'exploitation du système, et une description détaillée de chaque organe constitutif, se reporter à l'annexe C.

- North American Signal, Inc. de Jacksonville, Floride, É.-U., se spécialise dans les systèmes de commande pour le transport, et notamment dans les systèmes de transmission de données sans fil. La compagnie fabrique un dispositif (le contrôleur NAS 2001 DTMF) conçu pour transmettre la position des aiguilles dans les gares de triage et en bordure de la voie. L'indication à distance peut prendre la forme d'une annonce vocale, via une liaison radio bidirectionnelle protégée ou un système de communication sans fil, à un contrôleur de feu de signalisation le long de la voie, pour avertissement direct à l'équipe de train.

Voici les applications du système :

- Télécommande et indication le long de la voie de la position d'aiguilles de voies et d'aiguilles de triages
- Détection de défaillances
- Annonces à distance (message ou alerte)
- Appel automatique de personnel d'entretien
- Commande de stations de base mobiles
- Surveillance de dispositifs de commande de la circulation
- Télésurveillance aux fins de la sécurité

Le contrôleur peut être interconnecté à l'aiguille et à des feux de signalisation pour donner un avertissement à un train qui s'approche. Le système est présentement utilisé pour l'indication de la position des aiguilles dans les gares de triage.

Le contrôleur comme tel coûte queique 950 $US et peut être alimenté depuis la voie principale ou par une source c.c. (batteries). Des batteries de secours, des panneaux solaires et des signaux d'indication (feux) font monter le coût global du système. Le coût approximatif d'un système complet prêt à installer serait inférieur à 2 000 $US. Mais les coûts d'installation peuvent varier grandement en fonction des besoins de chaque application. Pour plus d'information sur ce produit, consulter l'annexe C.

- LaBarge Inc. de St. Louis, Missouri, É.-U., fabrique un dispositif de télésurveillance sans fil (CellularRTU) qui pourrait être appliqué à la surveillance de la position d'aiguilles [3]. Il serait ainsi possible de connaître la position d'une aiguille éloignée par Internet ou par un réseau intranet privé. Il s'agirait toutefois d'une application exceptionnelle du système, car il n'est pas conçu pour transmettre des messages fréquents ou de grandes quantités de données. Le système utilise les canaux de contrôle administratif du réseau cellulaire analogique qui couvre l'ensemble de l'Amérique du Nord. Un message d'alarme pourrait être transmis depuis une radio cellulaire raccordée à une source d'alimentation externe vers un téléavertisseur mobile utilisant un service de messagerie Web. Le message d'alarme pourrait aussi être envoyé à un centre de régulation par Internet, par courriel ou directement, à l'aide de divers protocoles de communication. Les sites éloignés pourraient être surveillés 24 heures sur 24 par Internet. L'information en provenance des sites éloignés pourrait être transmise à un nombre illimité de destinataires par courriel, téléphone cellulaire, téléavertisseur ou télécopieur.

  Le réseau cellulaire analogique existant devrait être en mesure de prendre en charge les transmissions. Il existe toutefois certaines limites. Ainsi, tandis que la couverture est excellente dans le corridor Québec-Windsor (qui englobe Ottawa) et qu'elle est passablement bonne dans certaines régions du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse, on note de graves lacunes dans le Nord de l'Ontario, la zone de Sault Ste. Marie à Thunder Bay n'étant presque pas couverte. La couverture reprend à Kenora vers l'ouest pour englober le sud du Manitoba, la moitié sud de la Saskatchewan et les deux tiers sud de l'Alberta. On pourrait éprouver le besoin d'autres protocoles de communication; mais ce besoin ne pourra être déterminé qu'après qu'il aura été confirmé que le système de base répond aux exigences.

Les messages pourraient être envoyés directement à l'équipe de train, à condition que la locomotive soit équipée de téléavertisseurs reliés à un réseau national et d'un système de messagerie Web. Un obstacle possible serait le niveau de bruit dans la cabine de la locomotive, qui pourrait rendre le signal du téléavertisseur inaudible. Des courriels pourraient aussi être envoyés au centre de régulation. Aucun autre équipement embarqué ne serait nécessaire dans la locomotive. Les messages ne pourraient être envoyés en continu, en raison de la surcharge imposée pour l'envoi d'un nombre excessif de messages par une unité dans un marché cellulaire donné. Les frais mensuels de service cellulaire pourraient augmenter substantiellement. Pour de plus amples renseignements sur la technologie, voir l'annexe C.

- Jasmin SIMTEC Ltd. de Nottingham, Angleterre, Royaume-Uni, a soumis une proposition écrite visant le développement d'un réseau de surveillance d'aiguilles. Cette technologie soulève le problème de l'utilisation d'équipement embarqué pour transmettre des signaux d'avertissement visuels et sonores à l'équipe de train. La principale contrainte de cette technologie est sa faible fiabilité lors de chutes de neige abondantes et prolongées, ce qui en fait un produit peu adapté aux conditions canadiennes. La proposition soumise est quand même présentée à l'annexe C.

- Selon Bruce Colpitts, un professeur au département de génie électrique et informatique de l'UNB qui a mené une recherche dans ce domaine, il existe dans le commerce des produits qui pourraient servir de base au développement des technologies voulues, à un coût relativement faible. Deux démarches différentes sont envisageables. La première, fondée sur les radiocommunications, utiliserait les fréquences homologuées pour les opérations ferroviaires. Chaque emplacement d'aiguille serait équipé d'un émetteur qui enverrait un signal radio directement au train. Il y aurait lieu de prévoir une identification unique pour chaque aiguille, pour que l'équipe de train sache l'emplacement exact de chaque aiguille et sa position. Le principal avantage de cette méthode est l'élimination des feux de signalisation pour indiquer la position de l'aiguille. S'ensuivrait l'élimination des dépenses pour l'achat des feux ainsi que pour leur installation et leur entretien. De plus, les composants électroniques mis en œuvre seraient plus durables que les feux, qui minent la fiabilité du système et en accroissent le coût. Mais, selon les méthodes de mise en œuvre, un tel système risque de poser des problèmes sur les plans de la sécurité et de la charge de travail.

  Une deuxième démarche consisterait à transmettre la position de l'aiguille depuis l'emplacement de l'aiguille vers un satellite. L'information serait alors transmise à un centre de régulation et de là, à la locomotive.

  La sécurité est le principal critère à prendre en considération lors de la mise en œuvre de ces types de technologies. Il est possible de développer un système simple qui répond aux besoins en ce qui a trait à l'avertissement avancé de l'équipe de train; mais le système doit être à la fois fiable, durable et bon marché.

3.2 Recensement des technologies d'intérêt

L'information glanée au cours de la recherche documentaire a été évaluée et soumise à un processus de sélection au terme duquel ont été retenues les technologies pouvant trouver une application dans l'indication de la position des aiguilles. Les technologies et/ou produits potentiels ont été analysés sous les angles suivants :

- application possible à l'infrastructure ferroviaire existante;
- principaux avantages et inconvénients;
- coût estimatif (achat);
- caractéristiques du système (si le fournisseur/fabricant offre un système complet ou partiel, p. ex., blocs d'alimentation, batteries, panneaux solaires, feux de signalisation).

Voici quelques-uns des facteurs pris en compte :

- la technologie comme unique option rentable;
- coût de la solution et gravité du danger atténué grâce à celle-ci.

Les technologies qui semblent pouvoir apporter une réponse au problème étudié sont énumérées au tableau 4. Elles ne sont pas classées en ordre de priorité. Pour une description plus complète de toutes les technologies recensées, se reporter à la section 3.1 et à l'annexe C.

Tableau 4 Technologies ayant un potentiel d'application à l'identification de la position d'aiguilles à manœuvre manuelle

N°	NOM DE LA TECHNOLOGIE/ DU PRODUIT	FOURNISSEUR	PRINCIPAUX AVANTAGES/ INCONVÉNIENTS	COÛT D'ACHAT APPROXIMATIF
1	Balise autonome	CIMAT Power Systems (Canada)	Système complet. Longue durée de vie (10-15 ans). À l'épreuve des intempéries. Alimentation par panneaux solaires. Infrastructure minimale. Entretien minimal. Installation simple. Peu coûteux. Sécurité intégrée.	3 321 $CAN
2	Contrôleur NAS 2001 DTMF	North American Signal, Inc. (É.-U.)	Système partiel. Contrôleur peu coûteux. Présentement utilisé pour les aiguilles de triage. Système complet fourni sur demande. Inconvénient : pour un système complet, il peut être nécessaire de se procurer les divers éléments auprès de fournisseurs différents.	Contrôleur : 950 $US Système complet (batteries, panneaux solaires, feux) : moins de 2 000 $US
3	Système de protection d'aiguille (SPPS)	ARS Networks, Inc. (É.-U.)	Système complet. Technologie simple. Sécurité intégrée. Inconvénient : cher.	10 000 $US à 25 000 $US

Tableau 4 (suite)

N°	NOM DE LA TECHNOLOGIE/ DU PRODUIT	FOURNISSEUR	PRINCIPAUX AVANTAGES/ INCONVÉNIENTS	COÛT D'ACHAT APPROXIMATIF
4	Switch Point Protection System	Foster Technologies Inc. (Canada)	Système complet. Peut détecter le sens du mouvement. Sécurité intégrée. Aucun entretien nécessaire. Manœuvre automatique de l'aiguille. Inconvénient : nécessite l'installation d'un moteur d'aiguille hydraulique; les réglages de mise en marche et les réglages ultérieurs peuvent nécessiter la formation de personnel.	20 000 $CAN (coûts d'installation compris) Moteur d'aiguille hydraulique : 6 700 $CAN
5	Système d'indication de la position d'aiguille	Canadien National (Canada)	Système complet. Facile à installer, entretien minimal. Relativement bon marché. S'est montré fiable et efficace.	Système simple (voie rectiligne) : 13 000 $CAN Système pour voie avec courbe : 35 000 $CAN

Tableau 4 (suite)

N°	NOM DE LA TECHNOLOGIE/ DU PRODUIT	FOURNISSEUR	PRINCIPAUX AVANTAGES/ INCONVÉNIENTS	COÛT D'ACHAT APPROXIMATIF
6	Feux directionnels (modèles 209 et 509)	Carmanah Railway Lights (Canada)	Système partiel. Relativement peu coûteux. Modifications à apporter pour répondre aux exigences des chemins de fer.	Varie selon le nombre commandé. Voir tableau 3, section 3.1.
7	Vital Harmon Logic Controller (VHLC)	GE Harris Harmon (É.-U.)	Système partiel. Assure la commande directe de feux et de mécanismes de signalisation. Remplace les relais les plus et les moins vitaux à un enclenchement.	Non disponible
8	Détecteur d'aiguille transistorisé	GE Harris Harmon (É.-U.)	Système partiel. Inconvénient : des modifications peuvent être nécessaires à l'infrastructure ferroviaire.	Non disponible

Tableau 4 (suite)

N°	NOM DE LA TECHNOLOGIE/ DU PRODUIT	FOURNISSEUR	PRINCIPAUX AVANTAGES/ INCONVÉNIENTS	COÛT D'ACHAT APPROXIMATIF
9	DEMA-Monitor/Annunciator	GE Harris Harmon (É.-U.)	Système partiel. Inconvénient : non conçu à l'origine pour la surveillance d'aiguilles. Des modifications peuvent être nécessaires.	Non disponible
10	Dispositif de télésurveillance sans fil (CellularRTU)	LaBarge Inc. (É.-U.)	Système complet. Utilise les canaux de contrôle administratif existants du réseau de téléphonie cellulaire. Inconvénients : certaines régions non desservies par la téléphonie cellulaire. Fondé sur l'envoi de messages par courriel ou Internet. Les équipes des trains doivent être équipées d'avertisseurs, qui peuvent être difficiles à entendre dans l'ambiance bruyante d'une locomotive. Limitation du nombre de messages à envoyer.	Non disponible

4 SOMMAIRE DES RÉSULTATS

4.1 Fiabilité des technologies d'intérêt

Cette section porte sur la fiabilité des technologies énumérées au tableau 4. Les commentaires formulés s'appuient sur les caractéristiques des technologies en ce qui a trait à la fonctionnalité apparente des systèmes, selon qu'ils sont offerts à titre de systèmes complets ou de composants à intégrer à des systèmes.

Normalement, un système complet est conçu expressément pour surveiller la position de l'aiguille, puis transmettre un signal d'avertissement à un train qui s'approche ou à un centre de régulation. Un système partiel peut être défini comme un composant ou un ensemble de composants ou produits qui doit être intégré avec un autre produit ou une autre technologie pour produire un système complet.

Règle générale, un système complet est plus facile à installer, et à moindre coût, qu'un système partiel. Il serait dès lors plus rentable d'acheter un système avec tous ses composants plutôt que d'avoir à intégrer des produits provenant de plusieurs fournisseurs pour obtenir un système capable de répondre aux besoins. L'utilisation d'une technologie autonome serait la meilleure solution pour réduire les coûts et atteindre une efficience maximale dans l'exploitation et l'entretien du système. De plus, le recours à des technologies partielles peut accroître les coûts d'achat, d'installation et d'entretien, sans que ces coûts soient compensés par une meilleure fiabilité et une plus grande efficacité.

L'information technique qu'ils ont recueillie auprès des fournisseurs et des fabricants a amené les chercheurs à penser qu'il conviendrait de recourir à des technologies complètes afin de garantir une fiabilité maximale de l'indication de la position d'une aiguille à manœuvre manuelle dans les zones exemptes de signalisation.

Les technologies ci-après, tirées du tableau 4, sont considérées comme ayant les meilleures chances (par ordre décroissant) d'application réussie. Les produits sont numérotés comme dans le tableau 4.

- **Produit n° 1 :** Balise autonome de CIMAT Power Systems
- **Produit n° 5 :** Système d'indication de la position d'aiguille du CN
- **Produit n° 10 :** Dispositif de télésurveillance sans fil de LaBarge Inc.
- **Produit n° 7 :** Vital Harmon Logic Controller (VHLC) de GEHH
- **Produit n° 4 :** Système de protection d'aiguille de Foster Technologies Inc. (cette technologie peut être utile pour détecter les débits de circulation et la direction des mouvements, ce qui peut faciliter les opérations de gestion des trains et la commande de la circulation des trains)

4.2 Estimation de la demande

À l'instar des chercheurs, un certain nombre de fournisseurs/fabricants potentiels ont mis l'accent sur le fait que la technologie capable de réaliser la fonction souhaitée existe déjà ou pourrait facilement être développée. La principale difficulté, à leurs yeux, est le peu de demande pour une telle technologie. C'est pourquoi une tentative a été faite d'estimer la demande pour des dispositifs de surveillance de la position d'aiguilles à manœuvre manuelle en zone exempte de signalisation au Canada. Des données ont été colligées auprès de l'ACFC, du CN et de CP Rail. Selon l'ACFC, on compte au moins 5 000 aiguilles sur 14 000 milles de voie non signalisée au Canada. Les données du CN révèlent qu'il y a 3 500 aiguilles dans des zones exemptes de signalisation sur 6 000 milles de voie fréquentée par des trains de marchandises; de ce nombre, 600 sont situées dans des zones exemptes de signalisation, où circulent également des trains de voyageurs. CP Rail exploite environ 2 000 aiguilles. Pour les besoins d'une analyse coûts-avantages préliminaire, les chercheurs ont établi à 6 500 le niveau de la demande, si toutes les aiguilles à manœuvre manuelle situées dans des zones exemptes de signalisation devaient être équipées d'un système perfectionné d'indication de position.

4.3 Coûts d'achat et de mise en œuvre

Les coûts respectifs des technologies offertes ont été communiqués par les divers organismes, fournisseurs et fabricants, tant pour les systèmes complets que pour les systèmes partiels. Le CN a indiqué un coût estimatif de 13 000 $CAN pour un système simple à installer la où la voie est rectiligne, et de 35 000 $CAN pour un système adapté aux voies en courbe. ARS Network Inc. a donné des coûts pour un système complet, moyennant une commande minimale de dix systèmes. Le coût d'un système à un feu est de 10 000 $US, tandis qu'un système à trois feux coûte 25 000 $US.

CIMAT Power Systems a également divulgué ses coûts pour un système complet et un système partiel. Le premier coûte environ 3 321 $US et le deuxième, 1 326 $US. Ces coûts comprennent le bloc d'alimentation, les batteries et l'installation.

Caramanah Railway Lights a communiqué le coût d'un système partiel. La compagnie fabrique deux catégories de modèles de feux de signalisation. Les modèles 209 et 509 coûtent 199 $US et 229 $US, respectivement.

On peut se procurer un système complet de Foster Technologies Inc. à un coût approximatif de 20 000 $CAN, installation comprise. Le Worcester Institute of Technology a développé un produit dont le prototype coûte 500 $US. Il prévoit produire des unités opérationnelles à un coût unitaire variant de 500 $US à 1 000 $US par aiguille, pour une série de 100. North American Signal Inc. offre une technologie complète pour 2 000 $US, installation non comprise.

Au vu de ce qui précède, les chercheurs ont utilisé des coûts de 10 000 $CAN à 15 000 $CAN par aiguille pour leur analyse.

4.4 Avantages

L'analyse coûts-avantages réalisée dans le cadre de l'étude visait à obtenir une estimation des avantages économiques à attendre de la mise en place d'une technologie destinée à réduire le nombre des accidents attribuables à des aiguilles à manœuvre manuelle situées dans des zones exemptes de signalisation. La qualité et la quantité des données se rapportant aux variables prises en compte dans une analyse coûts-avantages influent directement sur la sensibilité des résultats à ces variables.

En l'occurrence, l'analyse aurait eu une plus grande portée si d'autres données et/ou des données plus précises avaient été disponibles concernant plusieurs variables : taux et types d'accidents, coûts des accidents, coûts des technologies (installation comprise), gains de temps de déplacement, coûts associés au temps de déplacement, croissance du volume de trafic.

Les données auxquelles ont eu accès les chercheurs n'ont pas permis d'effectuer une analyse coûts-avantages détaillée. Toutefois, l'analyse s'est révélée suffisamment fiable pour indiquer que des avantages peuvent être tirés de la mise en œuvre d'une technologie peu coûteuse.

4.4 1 Économies résultant d'une réduction des dommages matériels, des morts et des blessés

Les avantages à tirer de la mise en œuvre du système ont été chiffrés. Les avantages sont considérés comme découlant d'économies reliées à une diminution des dommages matériels, du nombre des morts et des blessés, et du temps de déplacement. Dans le cas des accidents, les coûts sont tributaires de la gravité de ceux-ci. Dans le cas des accidents ayant occasionné des morts et des blessés, les coûts d'assurance pour 1990 ont été fournis par TC. Ces valeurs ont été rajustées pour 2001 à l'aide de déflateurs du produit intérieur brut (PIB). Ainsi, les coûts d'assurance pour les accidents ayant occasionné des morts et des blessés ont été estimés à 2 millions $CAN et 75 000 $CAN, respectivement.

Les coûts estimatifs des dommages matériels ont été obtenus auprès de l'ACFC. Les coûts d'accidents ferroviaires varient considérablement. Selon l'ACFC, 80 p. cent des incidents n'entraînent ni collision ni déraillement. Dans certains cas, les coûts de réparation ou de remplacement de l'aiguillage atteignent au maximum 1 000 $CAN. Toutefois, certaines collisions ont entraîné des coûts supérieurs à 1 million $CAN. D'après l'ACFC, 17 incidents sont survenus sur une seule et même voie ferrée depuis 1990. De ce nombre, 14 n'ont entraîné ni déraillement ni collision, tandis que les trois autres se sont soldés par des dommages matériels d'environ 1,3 million $CAN chacun. L'ACFC établit à 230 000 $CAN le coût moyen des dommages matériels par accident. Ce chiffre a été retenu pour l'analyse.

4.4.2 Gains de temps de déplacement des voyageurs et des marchandises

Les avantages comprennent également l'accélération des déplacements des voyageurs et des marchandises par suite des rajustements de la vitesse des trains après la mise en œuvre du

système. On compte environ 14 000 milles de voie non signalisée au Canada, ce qui représente environ 35 p. cent des 38 545 milles de voie à l'échelle du pays. TC a limité la vitesse des trains de voyageurs à 50 mi/h lorsqu'ils abordent un aiguillage en direction de prise en pointe dans les zones exemptes de signalisation. Tous les autres trains sont limités à 45 mi/h, à l'exception des trains qui transportent des marchandises dangereuses spéciales, qui ne doivent pas dépasser 40 mi/h.

Le CN exploite des lignes ferroviaires qui comptent environ 3 500 aiguillages, y compris 600 sur des voies empruntées par des trains de voyageurs. Les autres transporteurs n'ont pas fourni de données sur le nombre d'aiguillages ou la longueur de leurs lignes. On suppose que, des 14 000 milles de voie en zone exempte de signalisation, 3 000 milles sont fréquentés par des trains de voyageurs et les 12 000 milles restants servent uniquement au transport de marchandises.

Le nombre de voyageurs interurbains s'est élevé à environ 6 millions en 1999, 2 millions de ceux-ci (35 p. cent) se déplaçant dans des zones exemptes de signalisation. Au cours de la même période, environ 290 millions de tonnes de marchandises ont été transportées, dont environ 102 millions (35 p. cent) en zone exempte de signalisation.

Si on portait la limite de vitesse à 60 mi/h pour les trains de voyageurs par suite de la mise en œuvre d'un système donné, le nombre total d'heures de déplacement économisées par voyageur serait de 10 par année en zone exempte de signalisation. De même, si un train de marchandises pouvait circuler à 50 mi/h au lieu des 42,5 mi/h actuels, (moyenne de 45 et 40 mi/h), les gains se chiffreraient à environ 40 heures de déplacement par tonne par année en zone exempte de signalisation. Donc, le temps total gagné par suite d'une augmentation de la vitesse permise serait de 20 millions d'heures pour les voyageurs et de 4 100 millions d'heures pour les trains de marchandises, et ce, chaque année. La croissance annuelle moyenne du volume de trafic de 1990 à 1999 a été de 2,5 p. cent en voyageurs-milles et de 3,2 p. cent en tonnes-milles de marchandises.

La valeur du temps des voyageurs et des marchandises a été évaluée au cours de l'essai de l'outil HDM-4 (*Highway Development and Management Tool*) en vue de son application au Canada [4]. On a estimé à 17,00 $/h la valeur des heures de travail et à 4,25 $/h la valeur des heures chômées. Même si la plupart des voyageurs sont des gens qui se rendent à leur travail, les heures qu'ils passent à bord des trains sont des heures chômées, car ils partent tôt pour arriver à temps à leur travail. Toutefois, une partie du temps de déplacement peut être consacrée au travail. Ainsi, 25 p. cent du temps a été considéré comme du temps de travail et 75 p. cent comme du temps chômé. La valeur moyenne pondérée du temps de déplacement a donc été établie à 7,50 $/h. La valeur du temps de déplacement routier des marchandises a été évaluée à 18,75 $/h. La capacité d'un train double de type B est d'environ 60 tonnes. Le coût estimatif par tonne est donc établi à 0,30 $/h. Les méthodes de calcul ci-dessus ont mené à une estimation des avantages pour la période 2001-2010.

4.5 Extrapolation du nombre d'accidents

Les accidents de trains prennent de nombreuses formes : collisions en voie principale, déraillements en voie principale, accidents aux passages à niveau, collisions, déraillement hors d'une voie principale, collisions/déraillements de véhicules d'entretien, accidents à des employés/voyageurs, accidents survenus à des intrus, incendies/explosions. Parmi les incidents pouvant survenir aux trains figurent les fuites de marchandises dangereuses, un aiguillage de voie principale en position anormale, un mouvement dépassant les limites d'autorisation, du matériel roulant parti à la dérive, etc.

Selon le BST, les collisions et les déraillements hors d'une voie principale ont atteint au total 113 et 378, respectivement, entre 1995 et 1999, et 112 et 387, respectivement, en 2000. Les chiffres correspondants pour ce qui est des accidents mettant en cause des marchandises dangereuses s'établissaient à 62, 164, 48 et 150. Quant aux accidents au cours desquels il y a eu fuite de marchandises dangereuses, leur nombre s'est élevé à 8 entre 1995 et 1999, à 9 en 1999 et à 5 en 2000 [2].

Les données sur les incidents et accidents ferroviaires en voie principale attribuables à une position anormale d'aiguillages à manœuvre manuelle ont été communiquées par le BST pour la période de 1995 à 2000 (voir le tableau 5).

Tableau 5 ***Nombre d'incidents et d'accidents ferroviaires en voie principale dus à des aiguilles à manœuvre manuelle en position renversée***

Année	Incidents	Accidents	Morts	Blessés graves
1995	15	4	0	0
1996	8	2	0	0
1997	12	4	0	0
1998	14	0	0	0
1999	15	3	2	6
2000	17	3	0	5
Total	**81**	**16**	**2**	**11**

Source : Bureau de la sécurité des transports du Canada, août 2001

Les données du tableau 5 valent pour des accidents survenus en voie principale à des trains de chemins de fer de compétence fédérale. Les données des chemins de fer de compétence provinciale et des chemins de fer sur courtes distances ne sont pas compilées par le BST. Si de telles données étaient intégrées au tableau 6, les chiffres seraient plus élevés, ce qui ferait encore mieux ressortir le côté positif de l'analyse coûts-avantages.

Selon le tableau 5, le nombre moyen d'incidents entre 1995 et 2000 s'est établi à 13,5 par année et le nombre d'accidents, à 2,7 par année. Le nombre annuel moyen de morts et de blessés graves était de 0,33 et de 1,8, respectivement. Le tableau 5 révèle en outre que 2,5 p. cent du nombre total des incidents ont causé des morts, et 13,5 p. cent ont fait des blessés graves. La croissance annuelle moyenne du nombre d'incidents s'est établie à 2,1 p. cent. L'ACFC a évalué que les collisions et les déraillements représentent en gros 20 p. cent des incidents. Les données du tableau 5 appuient l'estimation de l'ACFC.

Aux fins de l'analyse, le nombre d'incidents entre 2001 et 2010 a d'abord été extrapolé en supposant un taux de croissance de 2 p. cent. Il a également été tenu pour acquis que les accidents représentaient 20 p. cent des nombres extrapolés. Les nombres estimatifs de morts et de blessés graves ont alors été établis d'après les pourcentages. Le tableau 6 présente les nombres extrapolés d'incidents et d'accidents.

Tableau 6 ***Nombre extrapolé d'incidents et d'accidents ferroviaires dus à des aiguilles à manœuvre manuelle en position renversée (en voie principale seulement)***

Année	Incidents	Accidents	Morts	Blessés graves
2001	17	3	0	2
2002	18	4	0	2
2003	18	4	0	2
2004	18	4	0	3
2005	19	4	0	3
2006	19	4	0	3
2007	20	4	0	3
2008	20	4	0	3
2009	20	4	1	3
2010	21	4	1	3
Total	**190**	**39**	**2**	**27**

Nota : Les chiffres du tableau seraient supérieurs si les données correspondantes concernant les collisions et déraillements survenus hors d'une voie principale étaient disponibles.

4.6 Analyse coûts-avantages

Les avantages sont la réduction des dommages matériels, des accidents avec blessés et des accidents mortels, et les économies découlant d'une diminution du temps de déplacement. Les

coûts sont les coûts initiaux associés aux technologies ainsi que les coûts d'entretien des systèmes. Les avantages escomptés d'une réduction des coûts associés aux accidents ont été traités séparément, selon que l'on envisageait une technologie à 10 000 $CAN ou à 15 000 $CAN par aiguillage. On a supposé que les coûts d'entretien d'un système s'élèvent à 10 p. cent de son coût initial. De même, l'analyse a porté sur la valeur du temps de déplacement. Les paramètres économiques de la valeur actualisée nette (VAN), du taux de rentabilité interne (TRI) et du rapport coûts-avantages (RC-A) ont été calculés à l'aide du logiciel QuattroPro. Le logiciel calcule les paramètres économiques directement à partir des flux de trésorerie non actualisés (FTNA).

La VAN est la différence entre les avantages et les coûts actualisés, au coût d'option du capital. Le coût d'option est la plus haute valeur du capital dans un autre usage (c.-à-d. le rendement du capital investi s'il avait été utilisé à d'autres fins). Les avantages et les coûts sont actualisés au coût d'option du capital, qui est normalement utilisé comme taux d'actualisation pour déterminer la viabilité de projets. Une VAN positive signifie que le projet est viable. Au Canada, les taux d'actualisation varient entre 5 et 10 p. cent. Aux États-Unis, la Federal Highway Administration a recommandé en 1994 d'utiliser un taux de 7 p. cent pour les analyses coûts-avantages des programmes fédéraux et les analyses d'impact des réglementations. Dans la présente étude, un taux d'actualisation de 7 p. cent a été utilisé.

Le TRI est le taux d'actualisation auquel les avantages actualisés équilibrent les coûts actualisés. Un TRI supérieur au coût d'option du capital veut dire qu'un projet est viable. Le RA-C est le rapport des avantages actualisés aux coûts actualisés, au coût d'option du capital. Un projet dont le RA-C est de 1 et plus est considéré comme étant économiquement viable.

Les tableaux 7 et 8 donnent les résultats de l'analyse. Les options I et II sont assorties de coûts d'immobilisation de 10 000 $CAN et de 15 000 $CAN, respectivement. Les coûts d'entretien ont été estimés à 10 p. cent des coûts d'immobilisation. La période visée par l'analyse est de dix ans, de 2001 à 2010. L'année 2000 constitue la période initiale d'investissement. Les coûts et les avantages sont exprimés en milliers de dollars canadiens. Il importe de noter que pour ce qui est des accidents, cette analyse repose uniquement sur les données concernant les collisions et les déraillements en voie principale. Même si les tableaux 5 et 6 comportent des données historiques et des prévisions au sujet des incidents, aucun coût économique n'a été attribué à cette catégorie.

Un coup d'œil sur les tableaux 7 et 8 permet de constater que l'amélioration de systèmes manuels d'indication de position d'aiguilles par des dispositifs électriques ou électroniques est coûteux et ne peut se justifier, si on considère uniquement les économies escomptées aux chapitres des dommages matériels et des accidents avec morts et blessés. Toutefois, si on tient aussi compte de la réduction du temps de déplacement, un tel projet serait économiquement viable. Des tests de sensibilité ont été réalisés à l'aide de 10 et 5 p. cent seulement de la valeur du temps de déplacement et des avantages associés à la diminution du nombre d'accidents. Le tableau 9 donne les résultats de l'analyse de sensibilité, qui indiquent que le projet est viable même en ne tenant compte que de 10 et 5 p. cent de la valeur du temps de déplacement.

Comme il a déjà été mentionné, l'analyse n'a porté que sur les accidents survenus en voie principale, à des trains de chemins de fer de compétence fédérale. La prise en compte des données touchant les accidents hors d'une voie principale mettant en cause des chemins de fer de compétence provinciale aurait pour effet d'accentuer les avantages.

Tableau 7 Résultats de l'analyse coûts-avantages compte non tenu de la valeur du temps de déplacement

Année	Option I (10 000 $)			Option II (15 000 $)		
	Coûts	Avantages	FTNA	Coûts	Avantages	FTNA
2000	65 000	-	-65 000	97 500	-	-97 500
2001	6 500	1 840	-4 660	9 750	1 840	-7 910
2002	6 500	1 880	-4 620	9 750	1 880	-7 870
2003	6 500	1 915	-4 585	9 750	1 915	-7 835
2004	6 500	1 955	-4 545	9 750	1 955	-7 795
2005	6 500	1 990	-4 510	9 750	1 990	-7 760
2006	6 500	2 030	-4 470	9 750	2 030	-7 720
2007	6 500	2 070	-4 430	9 750	2 070	-7 680
2008	6 500	2 115	-4 385	9 750	2 115	-7 635
2009	6 500	2 155	-4 354	9 750	2 155	-7 595
2010	6 500	2 200	-4 300	9 750	2 200	-7 550
VAN			-90 330			-142 040
TRI			Négatif			Négatif
RA-C			0,13			0,08

Nota : Les valeurs monétaires sont en milliers de dollars canadiens.

Tableau 8 Résultats de l'analyse coûts-avantages compte tenu de la valeur du temps de déplacement

Année	Option I (10 000 $)			Option II (15 000 $)		
	Coûts	Avantages	FTNA	Coûts	Avantages	FTNA
2000	65 000	-	-65 000	97 500	-	-97 500
2001	6 500	1 424 950	1 418 450	9 750	1 424 950	1 415 200
2002	6 500	1 469 450	1 462 950	9 750	1 469 450	1 459 700
2003	6 500	1 515 345	1 508 845	9 750	1 515 345	1 505 595
2004	6 500	1 562 685	1 556 185	9 750	1 562 685	1 552 935
2005	6 500	1 611 510	1 605 010	9 750	1 611 510	1 601 760
2006	6 500	1 661 865	1 655 365	9 750	1 661 865	1 652 115
2007	6 500	1 713 800	1 707 300	9 750	1 713 800	1 704 050
2008	6 500	1 767 370	1 760 870	9 750	1 767 370	1 757 620
2009	6 500	1 822 620	1 816 120	9 750	1 822 620	1 812 870
2010	6 500	1 879 610	1 873 110	9 750	1 879 610	1 869 860
VAN			10 610 720			10 559 015
TRI			2266			1507
RA-C			104			69

Nota : Les valeurs monétaires sont en milliers de dollars canadiens.

Tableau 9 Résultats de l'analyse de sensibilité

Option	VAN ($)		TRI (%)		RA-C	
	10 %	5 %	10 %	5 %	10 %	5 %
I	968 450	439 080	215	106	10,4	5,3
II	916 790	387 375	140	68	6,9	3,5

5 CONCLUSIONS

L'étude consistait à recenser les technologies existantes qui pourraient fournir aux équipes de train des renseignements prédictifs quant à la position d'aiguilles à manœuvre manuelle dans des zones exemptes de signalisation. Elle comprenait des renseignements obtenus par suite de sondages, d'entrevues, de correspondances électroniques et de conversations téléphoniques.

Un certain nombre de fournisseurs offrent des produits qui pourraient avoir une application dans l'indication de la position des aiguilles. Leur décision de développer une technologie expressément pour cette application dépend de la taille du marché potentiel et, corollairement, du rendement du capital investi. L'analyse coûts-avantages préliminaire menée dans le cadre de la présente étude, ainsi que la description des caractéristiques techniques offertes par chaque technologie, devrait aider à la prise d'une décision définitive concernant la faisabilité de la mise en œuvre d'une technologie précise.

Dix technologies ont été repérées, qui semblent pouvoir être appliquées aux objectifs de la présente étude. De ce nombre, cinq ont été considérées comme étant particulièrement prometteuses. Ces technologies vont d'un prototype présentement mis à l'essai sur le terrain par la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada à des composants qui pourraient être assemblés pour constituer un système. Certaines de ces technologies, y compris le système mis au point par le CN et la technologie proposée par ARS Network Inc., présentent les mêmes capacités avec des composants et des caractéristiques d'exploitation semblables.

L'étude a révélé qu'il est possible d'installer des systèmes peu coûteux et fiables pour indiquer la position d'aiguilles à manœuvre manuelle sur des voies ferrées. Selon les résultats d'une analyse coûts-avantages préliminaire, le projet de remplacement de systèmes manuels d'indication de position d'aiguilles par des dispositifs électroniques serait dispendieux et injustifié, si l'on tient compte seulement d'économies reliées aux dommages matériels et à la diminution du nombre de morts et de blessés. Cependant, le projet devrait être économiquement viable, même si l'analyse coûts-avantages ne tient compte que de 5 ou 10 p. cent de la valeur du temps de déplacement pour les passagers et les marchandises.

Lors de discussions, des experts et des représentants de transporteurs ferroviaires ont exprimé l'avis qu'il existe suffisamment de moyens technologiques pour développer des produits appropriés et/ou pour mettre en œuvre les technologies existantes. Les principaux critères techniques de mise en oeuvre sont une grande fiabilité, le plus faible coût possible, une

installation et une exploitation faciles, des besoins d'entretien minimaux et une durée de vie prolongée.

La technologie choisie doit être très fiable, peu coûteuse et facilement adaptable dans l'éventualité où l'évolution de l'industrie ferroviaire ferait surgir d'autres besoins.

RÉFÉRENCES

1 Bureau de la sécurité des transports du Canada, *Rapport d'enquête sur accident ferroviaire Déraillement/Collision*, Rapport numéro R99H0007, 2000, 16-21.

2 Bureau de la sécurité des transports du Canada, *Statistiques sur les événements ferroviaires* (Internet), 1999, 1-19.

3 Hilleary T.N, *Use of Cellular Control Channels For Low Cost Monitoring Applications*, Technical Information, LaBarge Inc, Network Technologies Group, Kansas, June 2001, 1-11.

4 Robak A., *The Applicability of HDM-4 to Road Projects in the Province of New Brunswick*, Senior Report, University of New Brunswick, Department of Civil Engineering, Fredericton, March 2001.